

機関番号：15501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560162

研究課題名（和文）横方向不連続粗面による壁乱流コントロールに関する実験的
アプローチ研究課題名（英文）Experimental Study on Control of the Wall Turbulence with Spanwise
Discontinuity of Surface Roughness

研究代表者

望月 信介 (MOCHIZUKI SHINSUKE)

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：70190957

研究成果の概要（和文）：壁面粗度のスパン方向不連続が縦渦を誘起することを実証し、その生成機構を明らかにした。縦渦は粗度の不連続に沿って生成し、二次流れを誘起した。縦渦の輸送方程式における生成項を評価し、乱流量分布が縦渦の生成に寄与することを示した。これにより、縦渦の生成機構が提案できた。また、突起状の渦発生器を用いることなく縦渦を生成でき、はく離抑制および混合促進への応用が可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：An experimental study shows existence of longitudinal vortex by spanwise discontinuity of surface roughness and its producing mechanisms. The longitudinal vortex is generated along the discontinuity of surface roughness and induces secondary current. Evaluation of production terms in the transport equation of the longitudinal vorticity reveals that turbulence distributions contribute to the vorticity production. This finding could be applied to vortex generator without protrusion height.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000円	810,000円	3,510,000円
2009年度	400,000円	120,000円	520,000円
2010年度	500,000円	150,000円	650,000円
年度			
年度			
総計	3,600,000円	1,080,000円	4,680,000円

研究分野：乱流工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：二次流れ、粗面、乱流、内部流れ、チャネル流

1. 研究開始当初の背景

(1) 流れの制御、特にはく離抑制や混合促進などにおいて、渦発生器により生成した縦渦が応用されている。

(2) 渦発生器は壁面上の突起として設置され、縦渦の生成とともに流体抵抗発生に要因ともなる。

(3) スパン方向における壁面粗度の不連続が二次流れを生成するという報告が数件存在

した。

(4) しかし、二次流れの生成を十分な精度の実験データを用いて証明した成果はなく、生成メカニズムについては推測のみという状態であった。

(5) 管内流やチャネル流といった内部流れにおいても、縦渦導入による流れの制御は有効であるが、できるだけ突起を持たない渦発生器の提案が望ましい。

2. 研究の目的

(1) 二次元チャンネル流 (図 1) の壁面に壁面粗度のスパン方向不連続を導入し、二次流れの生成の有無を実験的に明らかにする。

(2) 二次流れ生成が確認された場合、流れ方向渦度の輸送方程式の評価に基づき生成メカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 十分に発達した標準的二次元チャンネル流を確立する。標準的とは速度および乱流量分布の普遍法則である壁法則が成立することを意味する。

(2) 粗面壁はその流体力学的性質が既知の二次元矩形粗面を用い、種類としては d 形および k 形の二種類とする。

(3) チャンネル高さは 40mm、粗面要素高さは 2mm とした。

(4) 壁面粗度のスパン方向不連続は標準的チャンネル流が成立した流れ方向位置に下流に設置した。

(5) 平均速度の 3 成分、渦度輸送方程式に含まれる乱流量分布について、熱線流速計を用いて計測した。

(6) 流れ方向渦度の評価から縦渦の存在を確認し、渦度輸送方程式の生成項から縦渦の生成メカニズムを調査した。

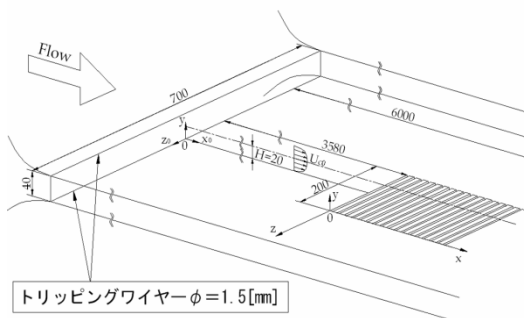


図 1 実験装置の概要

4. 研究成果

(1) 二次流れ生成に関する計測は粗面前縁から下流に測った距離がチャンネル高さの 40 倍および 80 倍の位置で行われた。

(2) ここでは二次流れの存在が最も顕著に観察された k 形粗面壁を用いて、粗面壁前縁からチャンネル高さの 80 倍下流位置で計測した

結果に基づき研究成果を説明する。

(3) 流れ方向平均速度の等値線分布 (図 2) に歪みが観察される。粗面壁上方で減速し、滑面壁上方で比較的増速している結果となっている。粗滑面の境界 ($z/H=0$) の近傍上方においては等値線の山と谷が隣り合う形状を示す。この特徴的な分布は、二次流れの存在によるものであると推測される。つまり、下降流による下向きに凸形状、吹き上げにより上向きに凸形状の分布が生じたものと解釈される。

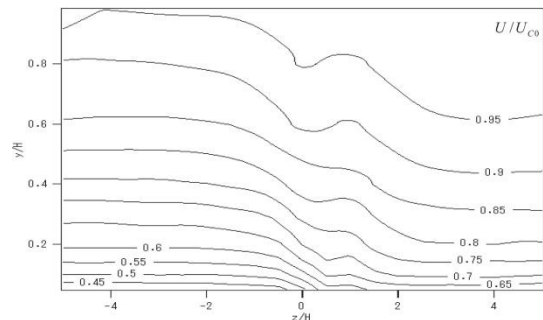


図 2 流れ方向平均速度の等値線分布 ($z/H<0$ の範囲が粗面)

(4) 二次流れの存在を確認するために、横断面における壁面に垂直方向およびスパン方向の平均速度の分布を計測した。それら 2 つの平均速度を用いて横断面内に記したベクトル線図 (図 3) には二次流れの生成が明確に確認される。

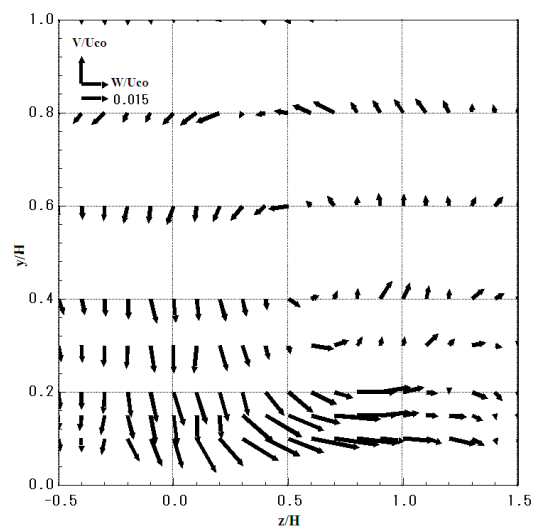


図 3 横断面内二次流れベクトル線図 ($z/H<0$ の範囲が粗面)

(5) 二次流れの様子は、壁面近くにおいては粗面側から滑面側へ、上方ではそれとは逆の

滑面側から粗面側への流れと為っている。これは Hinze によって報告された研究成果 (J.O.Hinze, Applied Scientific Research, Vol.28, (1973, pp.453-465)における二次流れとは逆の旋回成分となっている。

(6) 二次流れの大きさは流れ方向平均速度の3%程度であり、従来の研究 (Wang,H. and Nikerson,E.C., Reo. Fluid Dynamic Diff.Lab., Colorado State University, (1972))において予測された大きさとほぼ同じである。

(7) 壁面粗度のスパン方向不連続流において生成された二次流れの大きさを直接に計測した成果は本結果が初めてである。この計測結果により、壁面粗度のスパン方向不連続が二次流れを生成することが明らかとなった。

(8) この二次流れが渦度の集中をとまなう縦渦であるか否かを確認するため、流れ方向平均渦度 (図 4) を算出し、横断面内等値線を描いた。流れ方向平均渦度は横断面内二次流れ速度の計測値から算出された。

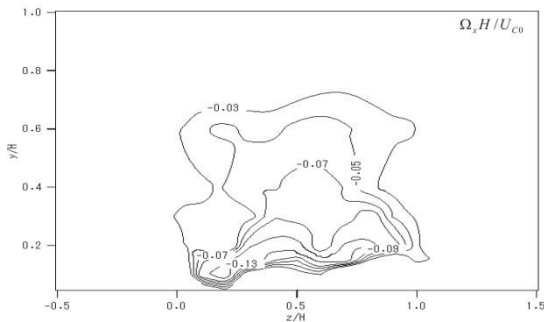


図 4 流れ方向平均渦度の等値線分布 (z/H<0 の範囲が粗面)

(9) 二次流れの大きさが比較的小さいため、分布にバラツキが大きいものの、流れ方向渦度の集中が確認できる。

(10) 渦度の最大値は粗滑面境界のやや上方に存在し、分布はその上方の比較的広い範囲に分布している。

(11) この結果により、壁面粗度のスパン方向不連続により生成した二次流れが渦度を有する縦渦であることが確認された。この種の流れにおいて渦度の存在が実験的に確認された成果は本結果が初めてである。

(12) 流れ方向渦度の存在は、この二次流れ生成のメカニズム解明に対して渦度輸送方程式が有効であることを示唆している。一般に、二次流れ生成のメカニズムを二次流れ速度成分の輸送方程式から明らかにすることは

静圧測定の間から困難である。しかしながら、渦度輸送方程式に基づく考察においては静圧測定の必要は無く、実験的に取得可能な非等方レイノルズ応力の非一様性を調査が主となり、それは実験的証拠に基づく考察が可能であることを意味する。

(13) 続いて、渦度輸送方程式に含まれる生成項を評価し、生成メカニズムの考察を行った。主たる生成項は壁面に垂直方向およびスパン方向の垂直レイノルズ応力の非等方性および非一様性によると考えられる。

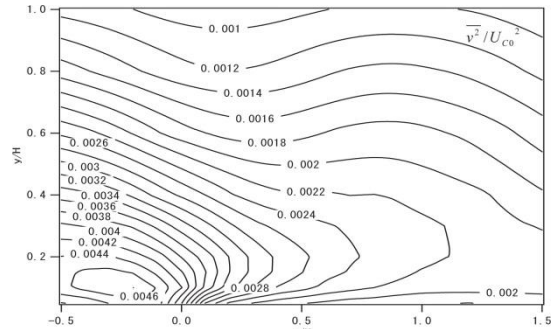


図 5 壁面に垂直方向の垂直レイノルズ応力の等値線分布 (z/H<0 の範囲が粗面)

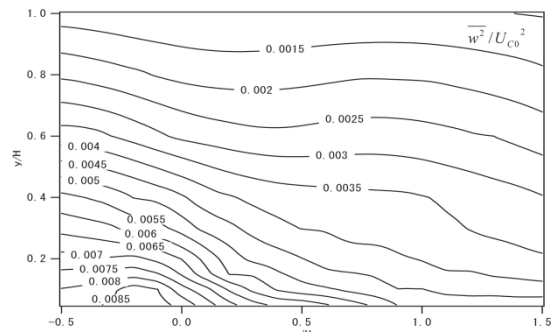


図 6 スパン方向の垂直レイノルズ応力の等値線分布 (z/H<0 の範囲が粗面)

(14) 壁面に垂直方向およびスパン方向の垂直レイノルズ応力分布 (図 5 および 6) は、いずれも粗面上方で値の増加が確認され、それにより等値線分布の変形が確認できる。

(15) スパン方向垂直レイノルズ応力成分が壁面に接した位置で極大値を示すのに対し、壁面に垂直方向の垂直レイノルズ応力成分は壁面からやや上方においてピークを持つ。

(16) 粗面上方における垂直レイノルズ応力分布の変化は壁面に垂直方向成分において卓越している。この要因としては、粗面壁からの渦放出などが考えられる。

(17) 渦度の生成項はこれら 2 つの垂直レイノルズ応力の差異、つまり非等方性が要因となる。垂直レイノルズ応力差の分布 (図 7) を描いてみると、垂直方向成分の卓越による非一様性の発生が確認できる。

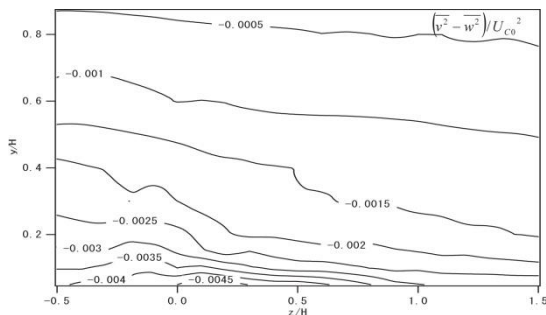


図 7 垂直レイノルズ応力差の等値線分布 (z/H<0 の範囲が粗面)

(18) 垂直レイノルズ応力の非等方性による生成項 (図 8) を求めてみると、縦渦が確認された横断面領域に値の集中がみられ、その符号は観察された縦渦のものと同じである。

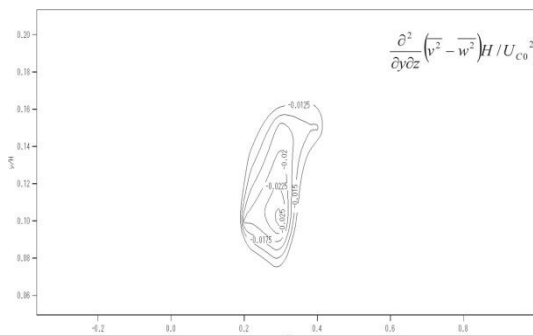


図 8 流れ方向渦度に対する生成項の等値線分布 (非等方レイノルズ応力の非一様性)

(19) これらの実験データに基づき、以下の結論が得られた。

- ① 壁面粗度のスパン方向不連続により二次流れをとともなう縦渦が生成される。
- ② 非等方レイノルズ応力の非一様性はその縦渦の生成メカニズムに寄与している。

(20) 本成果は、突起を使用することなく二次流れを生成できるため、撥水性塗料などを用いた渦発生器の新しい提案をもたらすものである。

(21) 今後、研究成果をさらに吟味し、縦渦の生成メカニズムを雑誌論文への投稿し、渦発生装置の新しい形の提案の要素としての特許申請を行う予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Aung Thuyein WIN, Shinsuke MOCHIZUKI, Takatsugu KAMEDA, Response of Fully Developed Pipe Flow to Rough Wall Disturbances (Turbulent Field), J. Fluid Science & Technology, 査読有, Vol.6, No.2, 2011, 192-201.
- ② Aung Thuyein WIN, Shinsuke MOCHIZUKI, Takatsugu KAMEDA, Disturbed Turbulent Structure of Fully Developed Pipe Flow by Rough Walls, Proc. Int. Conf. on Fluid Dynamics and Thermodynamics, World Academy of Science Engineering & Technology, 査読有, Year 7, Issue 73, 2011, 403-408.
- ③ Aung Thuyein WIN, Shinsuke MOCHIZUKI, Takatsugu KAMEDA, Response of Fully Developed Pipe Flow to Rough Wall Disturbances (Mean Velocity Field), J. Fluid Science & Technology, 査読有, Vol.5, No.2, 2010, 340-350.
- ④ Shinsuke MOCHIZUKI, Seiji YAMADA, Takatsugu KAMEDA, Flow Management of a Plane Turbulent Wall Jet by a Streamwise Vortex Pair with Periodic Variation in Strength and Radius, J. Fluid Science & Technology, 査読有, Vol.4, No.2, 2009, 313-323.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 伊勢家一馬, 吉岡浩, 望月信介, 亀田孝嗣, スパン方向粗さの不連続性による二次流れの精製に関する研究, 日本機械学会中国四国支部第 49 期総会・講演会, 2011 年 3 月 5 日, 岡山理科大学 (岡山市)
- ② Aung Thuyein WIN, Shinsuke MOCHIZUKI, Takatsugu KAMEDA, Response of the Turbulent Structure to Roughness Disturbances in Fully Developed Pipe Flow, 日本機械学会 2010 年度年次大会, 2010 年 9 月 7 日, 名古屋工業大学 (名古屋市)
- ③ 出戸隆道, 望月信介, 亀田孝嗣, 粗度のスパン方向不連続をもつチャンネル乱流に関する研究, 日本機械学会中国四国支部第 48 期総会・講演会, 2010 年 3 月 6 日, 広島工業大学 (広島市)
- ④ 戎本圭佑, アウン・トゥーレイ・ウィン, 望月信介, 亀田孝嗣, 壁面粗度の急変化による攪乱を受けた円管乱流の応答に関する研究, 日本機械学会中国四国支部第 48 期総会・講演会, 2010 年 3 月 6 日, 広

- 島工業大学（広島市）
- ⑤ Aung Thuyein WIN, Shinsuke MOCHIZUKI, Takatsugu KAMEDA, Response of the Fully Developed Pipe Flow to Roughness Disturbance, 日本機械学会 2009 年度年次大会, 2009 年 9 月 15 日, 岩手大学（盛岡市）
- ⑥ 島原直彦, 望月信介, 亀田孝嗣, Aung Thuyein WIN 粗度が急変化する円管流れの応答に関する研究, 日本機械学会中国四国支部第 47 期総会・講演会, 2009 年 3 月 6 日, 山口大学工学部（宇部市）

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

望月 信介 (MOCHIZUKI SHINSUKE)
山口大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：70190957

(2) 研究分担者

亀田 孝嗣 (KAMEDA TAKATSUGU)
山口大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：70304491

(3) 連携研究者

なし